

PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR PADA PROSES KRISTALISASI LOGAM COR

A.N00R SETYO.HD

Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang

ABSTRACT

This article is expected to give some additional knowledge as well as to widen the horizon of literary works, especially for the students and lecturers of mechanical Engineering department as well as the metal industry society that are studying the crystallization process of metal, especially cast iron. Based on the result of the author's library study, there was a close correlation, in the forming the physical and mechanical qualities of a metal. Between the structure of a metal and the speed of heat changes, the solidus-liquidus temperature gradient, the geometry and the substance of the casting mould. Equiaxed crystal with a columnar structure in it could be obtained when the speed of cooling off the metal liquid was high while the metal solidification was going on, on the contrary, when the speed of the heat changes was low the metal obtained would have a vague columnar-shape crystal with crystal grains of random oriented polygons. So to contain a high quality metal with uniform structures the regulation of the heat changes while the metal solidification process is going on should necessarily be carefully done besides paying attention to the factors of solidus – liquidus temperature gradient and the geometry of the casting mould used

Key words : the frame – work parameter, crystallization.

A. PENDAHULUAN

Proses kristalisasi memegang peran utama dalam pembentukan kualitas logam karena baik buruknya kualitas logam ditentukan oleh struktur logam yang terbentuk pada saat logam mengalami proses solidifikasi. Kristalisasi logam pada proses pengecoran dimulai pada saat cairan menyentuh garis solidus. Dengan berjalannya waktu, mulailah logam murni atau logam eutektik akan mengalami proses solidifikasi dan kristalisasi yang diawali

dari logam cair yang pertama kali telah bersentuhan dengan dinding cetakan menuju bagian dalam .

Perpindahan kalor pada proses solidifikasi antarmuka padatan dan cairan logam berlangsung dalam kondisi tak tunak dan bersifat transien. Oleh karena itu untuk menjaga agar kecepatan pemindahan kalor atau perbedaan suhu antara padatan dan cairan pada keadaan nyata atau tertentu, maka pengurangan panas laten dari cairan logam harus sama karena akibat dari proses pemadatan yang tidak bersamaan tersebut coran (*casting*) akan mengalami perbedaan struktur mikro atau kristal untuk berbagai tempat pada satu macam benda cor. Keadaan ini terjadi karena adanya perbedaan dalam kecepatan perpindahan kalor yang berbeda, sifat bahan, geometri dari cetakan, fluiditas bahan, viskositas dan densitas.

B. PROSES KRISTALISASI LOGAM

Pengertian tentang mengkristalnya suatu cairan logam secara praktis dapat diartikan secara sederhana sebagai membeku atau menjadi padat. Tetapi, sebenarnya dalam proses kristalisasi akan membawa berbagai pengaruh dan berbagai hasil struktur atom yang tidak seragam untuk satu jenis logam yang sama. Proses kristalisasi logam memegang peran yang sangat penting karena dengan mengetahui kristalisasi dapat menerangkan tentang seluk-beluk struktur atom suatu logam dari fase cair, hingga fase padat, atau sebaliknya dari fase padat ke fase cair. Dengan proses kristalisasi dapat dibentuk sifat fisik dan mekanik dari suatu logam dengan jalan mengatur jenis dan bentuk kristal. Dengan mengetahui struktur mikro suatu logam, akan didapatkan informasi yang tidak sedikit tentang asal – usul logam tersebut, sifat – sifat fisik, dan mekanik.

1. Kristalisasi Logam Murni

Logam murni dalam pembekuannya akan berbeda dengan logam paduan. Pada logam murni proses pembekuan terjadi pada temperatur

tertentu yang konstan, Hal ini ditandai dengan perubahan fase cair ke padat yang diikuti evolusi peleburan. Demikian pula jika perubahan struktur kristal terjadi pada keadaan padat, panas peleburan akan menyertai transformasi dan diskontinuitas kembali.

Pada pemadatan logam murni, awal pertumbuhan kristal diawali dengan timbulnya inti-inti kristal (*nukleus*) kecil atau kristal-kristal benih yang terbentuk secara merata diseluruh cairan , dan diikuti pertumbuhan kristal-kristal dan inti kristal yang baru, sampai akhirnya seluruh volume cairan menjadi padatan. Selama proses pembekuan nukleus tumbuh dengan cepat jika kecepatan pemindahan kalor berlangsung cepat menurut arah kristalografi tertentu, dan ini menyebabkan terbentuknya kristal-kristal bercabang panjang yaitu dendrit, pertumbuhan dendrit baru berhenti begitu terjadi kontak dengan dendrit bersebelahan yang tumbuh. Kemudian sisa cairan akan membeku pada rongga – rongga diantara cabang-cabang dendrit. Jika inti kristal yang terbentuk sedikit selama pembekuan, maka ukuran polikristalin yang terbentuk akan besar, karena laju pertumbuhan yang terjadi lebih besar dari laju pengintian. Sebaliknya jika selama pembekuan terbentuk inti kristal banyak, ukuran butir yang terjadi halus dengan kekuatan mekanik yang lebih tinggi. Akan tetapi pada logam paduan cairan di depan kristal kolumnar yang sedang tumbuh akan mengalami pendinginan lanjut (*intercooling*), sehingga sebagai gantinya timbul nukleasi kristal – kristal baru,yang heterogen. Inti kristal baru ini di bagian tengah menjadi kristal-kristal kasar yang memiliki orientasi acak dan parameter kisi yang sama.

2. Kristalisasi Logam Paduan

Proses kristalisasi pada logam paduan yang tidak saling melarut satu sama lain dalam keadaan padat, pemadatan larutan terjadi pada saat cairan memotong garis likuidus. Selanjutnya, dengan pendinginan lebih, padatan

yang telah terbentuk secara kontinu diendapkan, hingga mencapai temperatur eutektik. sedang sisa cairan akan membeku melalui solidifikasi dua elemen paduan yang saling bergantian atau melapis membentuk struktur duplek yang merupakan karakteristik paduan eutektik. Pada pendinginan lebih lanjut dari temperatur eutektik tidak akan mempengaruhi komposisi struktur fase karena tidak terjadi perubahan komposisi fase dalam keadaan padat. Dengan demikian, terlihat bahwa pembentukan struktur logam pada larutan yang demikian, dapat dilakukan hanya dengan mengatur lamanya penahanan laju kalor atau temperatur selama pemadatan karena temperatur merupakan fungsi dari komposisi paduan.

Pada logam paduan yang terdiri dari dua unsur atau lebih dengan struktur kristal, ukuran atom dan titik lebur yang sama, di bawah temperatur solidus , paduan berada dalam ujud padat, setelah melewati daerah dua fase dan keseimbangan dicapai setelah komposisi dan fase menyusun diri untuk membentuk komposisi yang homogen, untuk itu difusi atom, migrasi atomik harus terjadi secara besar-besaran, karena dalam praktiknya laju pendinginan sering terjadi terlalu cepat, sehingga tidak memberi kesempatan waktu yang cukup bagi atom untuk berdifusi dan yang terjadi hanya redistribusi sebagian atom yang tidak homogen akibat adanya pemusatan (*coring*). Larutan padat yang demikian akan memiliki sifat lebih buruk dibanding dengan paduan homogen. Untuk itu jenis logam paduan seperti ini perlu dilakukan proses perlakuan lanjut untuk homogenisasi.

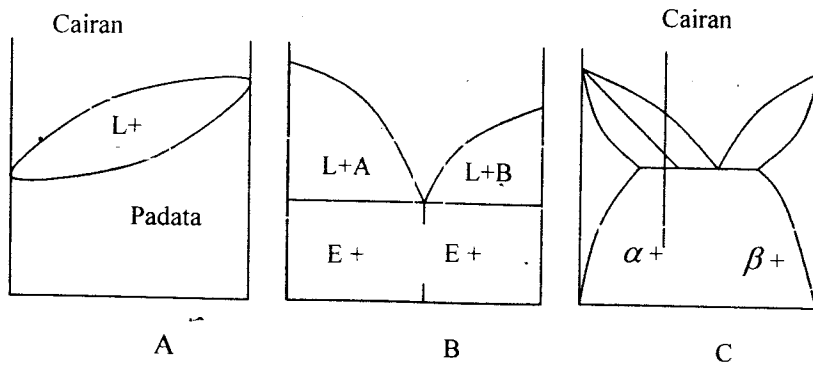
Dalam sistem paduan yang hanya larut sebagian dalam keadaan padat, jika kedua logam tersebut memiliki titik lebur yang sama, maka akan terbentuk titik eutektik, akan tetapi jika titik leburnya berbeda, maka larutan cenderung terjadi reaksi peritektik, yang mana sistem terdiri dari enam daerah fase yaitu cairan (α + cairan), β , (β + cairan) dan (α + β). Larutan primer β dalam komponen A pada fase padat ditandai oleh larutan padat α , sedangkan A dalam B oleh larutan padat β .Batas terbesar

kelarutan primer logam yang satu dalam logam yang lain terjadi pada temperatur eutektik atau peritektik, kemudian kelarutan menurun dengan menurunnya temperatur dan laju kalor.

Pada temperatur tertentu paduan eutektik larutan padat akan memasuki fasa pembekuan yang berlangsung dalam selang waktu tertentu, bahkan selama selang waktu sepanjang garis isothermis suhu akan tetap konstan, selama sisa cairan belum membeku. Dari gambar (1-1.C) dapat dijelaskan, pada tarap permulaan pendinginannya yaitu pada saat cairan menyentuh garis solidus – likuidus, cairan masih memiliki kemampuan untuk mengisi rongga cetak hingga batas – batas kristal logam yang tumbuh disekelilingnya belum cukup mampu untuk menahan gerakan aliran dari cairan titik (A), berikutnya pada suhu antar jangkauan cairan logam titik (B) terlihat mulai tidak memiliki mampu alir (flowability), karena cairan logam pada daerah tersebut telah mengalami kristalisasi sebesar 20 % hingga 25 %, jika pendinginan cairan diteruskan, kecairan logam sudah mulai menurun dengan kemampuan alir rendah, dan selanjutnya sisa cairan berhenti sama sekali dan tercapailah keadaan yang disebut temperatur nol kecairan titik (B) dan selanjutnya sisa cairan akan membeku seluruhnya pada titik (C).

Melihat uraian di atas, dengan demikian jelas bahwa proses kristalisasi logam tersebut berlangsung mulai dari titik (A) hingga titik (C).

Jika jarak titik A – C jauh, berarti logam memiliki sifat mampu cair yang jelek, karena temperatur permukaan cair titik A cukup tinggi, sebaliknya jika semakin pendek maka logam akan memiliki mampu cair baik, kecairan logam terbaik diperoleh pada eutektik (E). Gambar (1 – 1): menunjukkan suatu diagram keseimbangan dari paduan biner .



Gambar 1 Diagram Keseimbangan Paduan Biner

Keterangan :

- A : Diagram paduan larutan padat homogen.
- B : Diagram paduan dengan eutektik logam murni.
- C : Diagram paduan eutektik larutan padat.

C. FLUIDITAS

Pada proses solidifikasi cairan logam, dalam hal kemampuan untuk mengalir terdapat dua persoalan penting yaitu :

1. Apakah bahan memiliki fluiditas yang cukup, sehingga cairan dapat mengalir keseluruhan rongga cetak (tidak terjadi superheat pada cetakan).
2. Gerakan aliran elemen metal terhadap proses solidifikasi.

Logam cair akan memiliki kemampuan mengisi atau mengalir ke dalam rongga cetak yang akan terjadi apabila logam cair memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu kecairan .Pada tarap ini logam memiliki kemampuan untuk mengalir atau bergerak hingga batas-batas kristal logam di sekelilingnya belum cukup mampu membendung aliran. Cairan logam mulai kehilangan sifat mampu alirnya sedikit demi sedikit akibat adanya transfet panas yang

dimilikinya terhadap sekelilingnya melalui cetakan yang berlangsung secara konduksi, konveksi dan radiasi. Akhirnya suatu saat logam cair akan mengalami keadaan yang disebut suhu nol kecairan yaitu suhu yang besarnya berada antara suhu likuidus dengan suhu solidus. Pada daerah ini kecairan logam mulai menurun, kemampuan alirnya tersendat-sendat dan akhirnya gerakan cairan akan berhenti sama sekali.

D. VISKOSITAS

Pada dasarnya logam cair memiliki nilai *viscous* yang tinggi dan sifat mampu alir yang lebih baik dibandingkan dengan air, sehingga pada proses *casting* viskositas bukan merupakan hambatan bagi cairan logam dalam keadaan cair untuk mengalir pada saat mengisi rongga cetak.

Dalam pengecoran logam hambatan justru timbul akibat adanya gradien tekanan pada mulut cetakan dengan bagian dalam cetakan, serta efek hidrodinamis yang timbul akibat pengaruh gerakan dari cairan logam selama mengisi rongga cetak. Akibat dari efek ini akan menyebabkan kenaikan kecepatan, sehingga aliran logam mengalami turbulensi selama mengisi rongga cetak, akibat nilai Reynold (Re) yang melampaui batas kritis

E. PERPINDAHAN KALOR

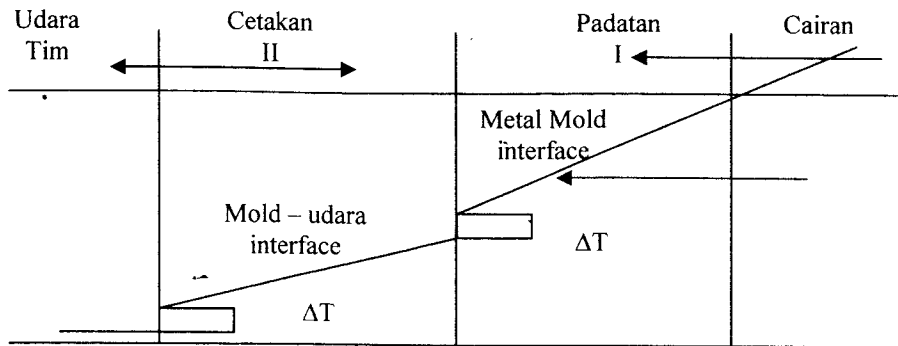
Secara skematis Gambar (1-2) menunjukkan besar kecepatan perpindahan kalor yang terjadi pada proses pemadatan dan kristalisasi metal cair dengan dinding cetakan dan lingkungan.

Bagian I : Perpindahan panas ditentukan oleh proses konduksi panas

Bagian II : Pemindahan panas berjalan melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi

Dari gambar (1-2) terlihat dalam keadaan cair logam memiliki sejumlah panas yang besarnya tergantung dari temperatur penuangan. Setelah dituangkan ke dalam cetakan cairan akan memberikan panas pada

cetakan secara bertahap melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi, hingga temperatur cairan sama dengan temperatur lingkungan.



Gambar 2 Proses kecepatan perpindahan kalor pada pendinginan.cairan logam.

F. PEMBAHASAN

Kristalisasi logam yang terjadi pada pemadatan merupakan suatu proses transisi fase dari fase cair ke fase padat yang berlangsung secara diskontinu. Ketika cairan logam mulai membeku, struktur butir kristal yang terjadi pada umumnya tidak seragam. Tingkat ketidak seragaman tersebut akan bergantung pada gradien temperatur likuidus-solidus, laju pemindahan kalor, geometri cetakan dan faktor pengiring lainnya.

Pada saat cairan bersentuhan dengan dinding cetakan, cairan akan mengalami pendinginan dan kristalisasi. Laju pendinginan yang tinggi tersebut menyebabkan nukleasi kristal-kristal lebih efektif dibanding dengan pertumbuhannya masing-masing. Hal ini berakibat terbentuknya banyak sekali kristal berbutir halus dan memiliki sumbu sama.

Dengan menurunnya, temperatur dan laju pendinginan akibat perbedaan suhu antara cairan dan dinding cetakan yang semakin mengecil, pertumbuhan kristal – kristal akan semakin efektif dibanding dengan pertumbuhan inti-inti kristal baru. Akibatnya, kristal-kristal diantarmuka

cairan logam yang telah mendingin mulai tumbuh ke bagian tengah cetakan dalam bentuk butir-butir kristal yang panjang- panjang seperti kolom yang disebut struktur kolumnar. Dalam pertumbuhannya kristal kolom melebar dan akan menghambat pertumbuhan kristal-kristal yang tumbuh lebih lambat.

Nukleasi struktur *equiaxed* menurut Winegrad dan Chalmer terjadi jika temperatur cairan (liquid temperatur) telah mencapai temperatur nukleasi. Kristal demikian timbul pada saat cairan logam mengalami kontak yang pertama kali dengan dinding cetakan yang semuanya itu dimungkinkan akibat dari *constitusal supercooling*. Struktur *equiaxed* di samping dipengaruhi oleh kecepatan pemindahan kalor yang tinggi, ternyata juga dipengaruhi oleh temperatur penuangan yang rendah dan bahan cetakan karena pada temperatur penuangan yang rendah mudah terbentuk *networkstruktur equiaxed* yang memiliki butir-butir kristal kecil dengan struktur kolumnar di dalamnya. Jika temperatur penuangan tinggi dapat, menyebabkan *remelting* dari *equiaxed zone* yang sudah terbentuk sehingga, logam didominasi oleh struktur kolumnar. Hal ini disebabkan oleh laju pertumbuhan kristal lebih besar dari pada laju pertumbuhan inti.

G. SIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa besar kecepatan perpindahan kalor dari cairan logam ke lingkungan melalui cetakan selama logam mengalami proses pemadatan akan dipengaruhi oleh ketebalan cetakan, besar konduktivitas bahan cetakan, dan temperatur likuidus-solidus dan geometri dan bahan dari cetakan. Kecepatan perpindahan kalor yang tinggi akan menjadikan logam memiliki kekerasan dan keuletan yang tinggi dengan *network struktur equiaxed zone* yang luas. Sebaliknya jika kecepatan pemindahan panas yang terjadi lambat, akan diperoleh struktur logam dengan matrik kolumnar yang memiliki kekuatan rendah. Oleh karena itu, perlu pengaturan besar kecepatan pemindahan kalor dalam proses

pemadatan logam agar bisa diperoleh struktur logam yang memiliki kualitas seragam dalam satu benda, baik kualitas fisik maupun mekanisnya .

DAFTAR PUSTAKA

Hume – Rothery, Smallman .W, RE and Haworth,C, 1969, *Structur of Metal and Alloys*, Institut of Metal, London.

Hartono, 1987, ***Teknologi Pengecoran Logam***, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.

Smallman,RE, 1985, ***Modern Physical Metallurgy*** Copyright Butter Worth and Co (Publisher) Ltd.